



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 41 33 912 C 2

⑤① Int. Cl. 5:
B 60 L 15/38
B 62 D 53/00
B 60 L 11/02
B 60 L 15/00
B 60 D 1/00

②① Aktenzeichen: P 41 33 912.6-32
②② Anmeldetag: 9. 10. 91
④③ Offenlegungstag: 15. 4. 93
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 29. 7. 93

DE 41 33 912 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:
Mannesmann AG, 4000 Düsseldorf, DE

⑦④ Vertreter:
Meissner, P., Dipl.-Ing.; Presting, H., Dipl.-Ing.,
Pat.-Anwälte, 1000 Berlin

⑦② Erfinder:

Adler, Uwe, Dipl.-Ing., 8720 Schweinfurt, DE; Drexl,
Hans-Jürgen, Dr.-Ing., 8724 Schonungen, DE; Lutz,
Dieter, Dr.-Ing., 8720 Schweinfurt, DE; Nagler, Franz,
Dipl.-Ing., 8729 Ottendorf, DE; Ochs, Martin, Dr.-Ing.,
8720 Schweinfurt, DE; Schiebold, Stefan, Dr.-Ing.,
8720 Schweinfurt, DE; Schmidt-Brücken,
Hans-Joachim, Dipl.-Phys., 8721 Geldersheim, DE;
Thieler, Wolfgang, Dipl.-Ing., 8728 Haßfurt, DE;
Wagner, Michael, Dr.-Ing., 8721 Niederwerrn, DE;
Westendorf, Holger, Dr.-Ing., 8721 Hambach, DE;
Wychnanek, Rainer, Dipl.-Wirtsch.-Ing., 8721
Madenhausen, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-AS 20 10 594
DE 39 07 763 A1
DE 37 25 620 A1
DE 30 45 114 A1
DE 27 05 318 A1

DE-Z.: EHRHARD, P.: »Das elektrische Getriebe von
Magnet-Motor für PKW und Omnibusse«. In:
VDJ-Berichte Nr. 878, 1991;

⑤④ Fahrzeug mit durch Elektromotoren angetriebenen Antriebsrädern

DE 41 33 912 C 2

Die Erfindung betrifft einen Fahrzeugzug gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Ein solcher Fahrzeugzug ist bekannt durch die DE 30 45 114 A1.

Aus der Veröffentlichung von Dr. Ehrhard, P.: "Das elektrische Getriebe von Magnet-Motor für Pkw und Omnibusse" in "VDI-Berichte Nr. 878, 1991" sind Fahrzeuge bekannt, die ein sogenanntes "elektrisches Getriebe" aufweisen. Es handelt sich hierbei um Fahrzeuge, die mit einem Verbrennungsmotor ausgestattet sind, der seinerseits nicht wie üblich über ein Schaltgetriebe an einen mechanischen Antriebsstrang gekoppelt ist, sondern der einen elektrischen Generator antreibt. Die Antriebsräder dieser Fahrzeuge werden von elektrischen Achs- oder Radmotoren angetrieben, die ihren elektrischen Strom von dem Generator beziehen. Die Stromerzeugung des Generators und die Stromversorgung der Elektromotoren werden von einer elektronischen Steuerung gesteuert. Die Elektromotoren und der Generator sind als "multiple elektronische Dauermagnet-Maschinen" (MED-Maschinen) ausgebildet. Sie weisen einen innenliegenden Statorteil aus einer großen Zahl von Statorblechpaketen auf, die sternförmig angeordnet und mit Einzelspulen bewickelt sind.

Diese Spulen sind einzeln oder in Gruppen seriell- oder parallelgeschaltet mit Einzelfrequenzumrichtern der elektronischen Steuerung verbunden, die auch als "multiple Stromsteuerung" (MSS) bezeichnet wird. Außen um den Statorteil ist der Rotorteil angeordnet, der aus einem magnetisch leitfähigen Ring mit von innen aufgetragenen Dauermagneten vom Typ Seltenerd-Kobalt oder Seltenerd-Eisen besteht. Durch die Einzelfrequenzumrichter erfolgt die elektronische Kommutierung des Spulenstroms zum korrekten Zeitpunkt und in der vom Betriebspunkt her erforderlichen Amplitude. Wegen der Außenläuferkonstruktion und des in radialer Richtung sehr dünn gehaltenen Rotorteils ergibt sich gegenüber konventionellen Gleichstrommaschinen bei den MED-Maschinen bei gleichem Außendurchmesser eine Steigerung von Drehmoment und Leistung auf bis das Dreifache.

Bei diesen bekannten Fahrzeugen erfolgt die Kraftübertragung vom Verbrennungsmotor zu den Antriebsrädern auf rein elektrischem Wege mit hohem Wirkungsgrad. Konstruktive Rücksichtnahmen, wie sie bei der Auslegung eines konventionellen mechanischen Antriebsstrangs unvermeidbar sind, entfallen hierbei weitestgehend.

Fahrzeugzüge in Form von Lastkraftwagen mit Anhängern oder Sattelschlepperzügen oder Gelenkonnibussen sind seit vielen Jahren bekannt. Kennzeichnend für Lastkraftwagen und Sattelschlepperzüge ist es, daß der Verbrennungsmotor für den Antrieb im Zugfahrzeug untergebracht ist. Bei Gelenkbussen wird der Verbrennungsmotor dagegen üblicherweise im Heck des an einen Vorderwagen angehängten Fahrzeugteils angeordnet, wobei sich auch die Antriebsräder im angehängten Fahrzeugteil befinden.

Das Fahrverhalten derartiger Fahrzeugzüge ist vielfach verbesserungswürdig. Dies gilt zum einen im Hinblick auf die Traktion, da meistens nur die Räder einer einzigen Achse des Zugfahrzeugs und eher nur in Ausnahmefällen (insbesondere wegen der höheren Herstellungskosten) zwei oder drei Achsen angetrieben sind. Abgesehen von Gelenkbussen, die im "Schiebebetrieb" arbeiten, ist der an das Zugfahrzeug angehängte Teil des Fahrzeugzugs abgesehen von Sonderfahrzeugen stets

ohne einen eigenen Antrieb, so daß von der vorhandenen Räderanzahl des Fahrzeugzugs nur ein Teil zur Übertragung von Antriebskräften genutzt wird. Zum anderen bereitet das Rückwärtsfahren mit einem herkömmlichen Anhänger, insbesondere wenn dieser eine lenkbare (schwenkbare) Achse besitzt, vielfach große Schwierigkeiten, da der Fahrzeugzug anders als bei Vorwärtsfahrt zum "Einknicken", d. h. zum Querstellen des Anhängers gegenüber der gewünschten Fahrtrichtung neigt. Ein derartiges Einknicken kann unter ungünstigen Umständen auch beim Abbremsen des Fahrzeugzugs auftreten.

Aus der gattungsgemäßen DE 30 45 114 A1 ist ein Gelenkonnibus bekannt, dessen Nachläuferachse von einem Verbrennungsmotor über einen herkömmlichen Antriebsstrang mit Schaltgetriebe angetrieben wird. Für einen alternativen Antrieb als Oberleitungsbus ist ein von einem Stromnetz zu speisender elektrischer oder elektrohydraulischer Antrieb für die Mittelachse des Fahrzeugs vorgesehen. Ein gleichzeitiger Betrieb beider Antriebe wird nicht in Erwägung gezogen.

Ein Campingwagen, dessen Räder von Elektromotoren antreibbar sind, die aus einer Batterie oder einer externen Stromquelle mit elektrischer Antriebsenergie versorgt werden, ist in der DE 27 05 318 A1 beschrieben. Der Antrieb durch die Elektromotoren ist nur für das Rangieren des Campingwagens im vom Zugwagen abgekoppelten Zustand vorgesehen. Zur Erleichterung der Kurvenfahrt kann dabei auch ein Antrieb der Räder mit entsprechend unterschiedlichen Drehzahlen vorgenommen werden.

Ferner ist aus der DE 39 07 763 A1 eine Vorrichtung bekannt, die zum Zweck der Regelung des Bremssystems im Hinblick auf ein neutrales Fahrverhalten eines aus Zugwagen und Anhänger bestehenden Wagenzuges eingesetzt wird und an der Zugfahrzeugkopplung die auftretenden Deichselkräfte mißt. Über die Möglichkeit einer Verwertung der erfaßten Deichselkräfte für andere Zwecke ist nichts ausgesagt.

Weiterhin ist es aus der DE-OS 20 10 594 bekannt, an einem Fahrzeug, dessen Räder durch Elektromotoren über Getriebe angetrieben werden, durch einen Geber ein dem Kurvenradius proportionales Signal zu ermitteln und die Drehzahlen der Räder entsprechend unterschiedlich einzustellen. Auf Fahrzeugzüge finden sich in dieser Schrift keine Hinweise.

Schließlich ist aus der DE 37 25 620 A1 ein Antriebs- und Bremskonzept für ein Kraftfahrzeug mit einer Verbrennungsmotor/Generator-Einheit zur Versorgung der elektrischen Antriebsmotoren seiner Räder bekannt, bei dem eine Antriebsschlupf- und eine Antiblockierregelung vorgesehen sind. Ein Anhängerbetrieb ist dort nicht erwähnt.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Fahrzeugzug der gattungsgemäßen Art in seinen Fahreigenschaften, insbesondere im Hinblick auf seine Traktion zu verbessern, ohne daß dafür ein übermäßiger Bauaufwand erforderlich wird.

Gelöst wird diese Aufgabe erfindungsgemäß durch einen Fahrzeugzug mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen 2 bis 12 angegeben.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand der schematischen Darstellungen der Fig. 1 bis 4 näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 eine Seitenansicht eines Fahrzeugzugs mit zweischsigem Anhänger,

Fig. 2 eine Kurvenfahrt eines Fahrzeugzugs mit zwei-

achsigen Anhänger,

Fig. 3 ein Antriebskonzept eines erfindungsgemäßen Fahrzeugzugs und

Fig. 4 den zeitlichen Verlauf der Lenkwinkel eines Zugfahrzeugs und eines Anhängers.

In Fig. 1 sind schematisch ein als Lastkraftwagen ausgebildetes Zugfahrzeug 1 und ein Anhänger 2 dargestellt. Der Anhänger 2 ist über eine Deichsel 4 mit einer Anhängerkupplung 13 des Zugfahrzeugs 1 mechanisch verbunden. Wenn sich der Fahrzeugzug mit einer bestimmten Geschwindigkeit v (durch einen Pfeil dargestellt) bewegt, wirken auf ihn eine Reihe von Kräften ein, die als Antriebskräfte oder als Fahrwiderstandskräfte zu betrachten sind. Für das Zugfahrzeug 1 gilt im Hinblick auf die zum Ziehen des Anhängers 2 zur Verfügung stehende Zugkraft F_z :

$$F_E - F_{WG} - F_{WR} - F_{WS} - F_{WL} - F_{WB} = F_z \quad (1)$$

Darin bedeuten:

F_E = vom Antriebssystem des Zugfahrzeugs momentan bereitgestellte Antriebskraft

F_{WG} = Getriebewiderstand des Zugfahrzeugs

F_{WR} = Rollwiderstand des Zugfahrzeugs

F_{WL} = Luftwiderstand des Zugfahrzeugs

F_{WS} = Steigwiderstand des Zugfahrzeugs

F_{WB} = Beschleunigungswiderstand des Zugfahrzeugs

Die auf das Zugfahrzeug 1 als Widerstandskraft wirkende Zugkraft F_z ist in ihrer absoluten Größe der Zugkraft F_z gleich, die von der Kupplung 13 auf die Deichsel 14 des Anhängers 2 ausgeübt wird und in Fahrtrichtung gerichtet ist:

$$F_z = F_z' \quad (2)$$

Für einen herkömmlichen Anhänger ohne eigenen Antrieb gilt im Zugbetrieb:

$$F_z' = F_{WR}' + F_{WL}' + F_{WS}' + F_{WB}' \quad (3)$$

Die durch einen Strich gekennzeichneten Fahrwiderstandskräfte haben darin bezogen auf den Anhänger die entsprechende Bedeutung wie die vorstehend erläuterten Fahrwiderstandskräfte des Zugfahrzeugs.

Aus Gründen der Fahrstabilität sollten bei Vorwärtsfahrt über die Deichsel eines Anhängers möglichst nur Zugkräfte übertragen werden, das heißt, ein Schieben durch den Anhänger sollte unbedingt vermieden werden. Das bedeutet, daß F_z und F_z' bei der in Fig. 1 dargestellten Krafrichtung stets größer 0 sein, also nicht negativ (Druckkraft) werden sollten. Beim Bremsen oder bei einer Bergfahrt wird dies bei herkömmlichen Anhängern nicht ohne weiteres gewährleistet.

Die Erfindung geht, wie dies aus dem Schema in Fig. 3 hervorgeht, von einem lenkbaren Zugfahrzeug 1 aus, dessen Antriebsräder 4 mindestens einer Achse durch separate Elektromotoren 8 angetrieben werden.

Auf jeder Fahrzeugseite steht also mindestens ein von einem Elektromotor 8 angetriebenes Antriebsrad 4 zur Verfügung. Die Elektromotoren 8 werden durch eine elektronische Steuerung 11 aus einer Gleichstromquelle 15 über Leitungen 16 mit elektrischer Antriebsenergie 18 versorgt. Die Stromquelle 15 kann beispielsweise als von einem Verbrennungsmotor angetriebener Generator oder auch als Akkumulator oder ähnliches ausgebildet sein. Mit besonderem Vorteil werden MED-Maschi-

nen als Elektromotoren 8 für den Fahrzeugantrieb und gegebenenfalls auch als Generator eingesetzt. Wenn letzteres zutrifft, übernimmt die elektronische Steuerung 11 auch die Steuerung des Generators im Sinne einer multiplen Stromsteuerung. Um dem Zugfahrzeug 1 eine möglichst hohe Traktion zu verleihen, können dessen sämtliche Antriebsräder mit elektromotorischen Antrieben versehen werden. In Fig. 3 ist dies durch gestrichelt dargestellte Elektromotoren 7 an den Rädern 3 und gestrichelte Stromleitungen 16 angedeutet. Der Mehraufwand für einen derartigen Allradantrieb im Vergleich zum Antrieb der Räder nur einer einzigen Fahrzeugachse ist gegenüber einer Lösung mit konventionellem Antriebsstrang relativ gering.

Die Erfindung zeichnet sich gegenüber den bekannten Fahrzeugzügen insbesondere dadurch aus, daß nicht nur das Zugfahrzeug 1, sondern auch der Anhänger 2 über angetriebene Räder 5 verfügt. Unter bestimmten Betriebsbedingungen ist es besonders vorteilhaft, sämtliche Räder 5, 6 des Anhängers 2 anzutreiben. Dadurch erhält das Fahrzeug eine maximale Traktion. Der Antrieb der Räder 5, 6 erfolgt durch Elektromotoren 9, 10, die den Rädern 5, 6 jeweils separat zugeordnet sind, so daß eine individuelle Einstellung von Drehzahl und Antriebsdrehmoment möglich ist. Dies erfolgt wiederum durch die elektronische Steuerung 11, die die Elektromotoren 9, 10 über die Leitungen 16 entsprechend dosiert mit elektrischem Strom versorgt.

Die optionalen Elektromotoren 10 an den Rädern 6 und die zugeordneten Stromleitungen 16 sind in Fig. 3 gestrichelt dargestellt. Durch die strichpunktierten Linien 17 wird angedeutet, daß die elektronische Steuerung 11 fortlaufend die für die Steuerung der Elektromotoren erforderlichen Signale über den aktuellen Betriebszustand jedes Elektromotors 7, 8, 9, 10 erhält.

In dem in Fig. 1 und 2 dargestellten Beispiel weist der zweiaxshige Anhänger 2 eine lenkbare Vorderachse auf (Fahrschemellenkung), da die knicksteife mit der Deichsel 14 verbundene Vorderachse um einen Drehpunkt schwenkbar ist. Grundsätzlich kann der Anhänger 2 auch einachsrig ausgebildet sein oder aber noch weitere Achsen (z. B. hintere Tandemachse) aufweisen.

Ein weiteres wesentliches Merkmal der Erfindung ist es, daß die elektronische Steuerung 11 die Elektromotoren 9 und gegebenenfalls 10 in der Weise dosiert mit Strom versorgt, daß der Anhänger 2 jederzeit eine Zugkraft auf das Zugfahrzeug 1 ausübt, also während des Vorwärtsfahrbetriebs nicht in den Schiebebetrieb übergeht (z. B. bei Bergabfahrt). Hierzu kann die Stromversorgung gegebenenfalls in negativer Richtung vor sich gehen, das heißt, daß die Elektromotoren 9, 10 im Bedarfsfall zeitweilig auch als Generatoren zur Stromerzeugung herangezogen werden und auf diese Weise ein negatives Antriebsmoment (Bremsmoment) erzeugen. Die Überwachung der Größe der Zugkraft an der Deichsel 14 wird durch einen entsprechenden (nicht dargestellten) Sensor (z. B. Dehnungsmeßstreifen) gewährleistet, der signaltechnisch mit der elektronischen Steuerung 11 verbunden ist. Die Regelung der Antriebsleistung erfolgt zweckmäßigerweise so, daß die Zugkraft F_z an der Deichsel 14 möglichst klein ist, wobei allerdings die Fahrbedingungen berücksichtigt werden. Bei höherer Fahrgeschwindigkeit v ist ein größerer Mindestzugkraftwert F_z vorzusehen als bei niedriger Geschwindigkeit.

Weiterhin verfügt der erfindungsgemäße Fahrzeugzug über Einrichtungen (z. B. Sensoren im Bereich der Radaufhängung oder der Lenkung der lenkbaren Räder

3 des Zugfahrzeugs 1) zur Erfassung des Lenkwinkels α des rechten Vorderrades 3 oder des Lenkwinkels β des linken Vorderrades 3 oder beider Lenkwinkel α, β durch die elektronische Steuerung 11. Außerdem kann die elektronische Steuerung 11 jederzeit die aktuelle Fahrgeschwindigkeit v des Fahrzeugzugs erfassen. Hierzu kann beispielsweise ein Tachogenerator vorgesehen sein. Es ist aber auch ohne weiteres möglich, die Geschwindigkeit v von der elektronischen Steuerung 11 anhand der erfaßten Drehzahlen der Antriebsräder 3, 4, 5, 6 errechnen zu lassen.

Ein weiteres wesentliches Merkmal der Erfindung ist es, daß in der elektronischen Steuerung 11 in Form von gespeicherten Tabellenwerten oder Berechnungsalgorithmen eine eindeutige Zuordnung eines der Lenkwinkel α, β oder beider Winkel α, β zu einem Soll-Lenkwinkel des Anhängers 2 oder zu einem diesen Soll-Lenkwinkel repräsentierenden Wert erfolgt. Die Lenkwinkel α, β sind in Fig. 2 als Winkel zwischen den Drehachsen der gelenkten Räder 3 und den Drehachsen der ungelenkten Räder 4 erkennbar. Der Lenkwinkel ξ des Anhängers 2 wird gebildet zwischen den Drehachsen der Räder 5 und 6 und ist damit gleich dem Winkel zwischen der Deichsel 14 und der Längsachse des Anhängers 2 (Drehkranzwinkel). Bei einem einachsigen Anhänger kann der Winkel zwischen Deichsel (das heißt Anhängerlängsachse) und Längsachse des Zugfahrzeugs als Lenkwinkel des Anhängers bezeichnet werden.

Bei einem sogenannten idealen Anhängerbetrieb, also beim Fahren auf trockener rutschfester Fahrbahn ohne angetriebene Räder am Anhänger läuft eine Kurvenfahrt eines Fahrzeugs entsprechend Fig. 2 nach festliegenden geometrischen Gesetzmäßigkeiten ab. Es gelten folgende Beziehungen:

$$r_K = \frac{l - s_L/2 \times \tan \alpha}{\tan \alpha} \quad (4)$$

$$\gamma = \arctan \frac{l_K}{r_K} \quad (5)$$

$$r_{KK} = \sqrt{r_K^2 + l_K^2} \quad (6)$$

$$\xi = \arcsin \frac{l_H}{\sqrt{r_{KK}^2 - l_D^2}} \quad (7)$$

Darin bedeuten:

r_K = Kurvenradius, das heißt Abstand der Längsachse des Zugfahrzeugs vom Kurvenmittelpunkt P
 l = Abstand der gelenkten und der ungelenkten Fahrzeugachse voneinander
 s_L = Abstand der Drehpunkte der gelenkten Räder des Zugfahrzeugs voneinander
 r_{KK} = horizontaler Abstand der Anhängerkupplung am Zugfahrzeug vom Kurvenmittelpunkt P
 l_K = horizontaler Abstand der Koppelachse der Anhängerkupplung von der Drehachse der ungelenkten Hinterrachse des Zugfahrzeugs
 l_D = wirksame Deichsellänge des Anhängers, das heißt horizontaler Abstand der Drehachse der gelenkten Anhängerachse von der Koppelachse der Anhängerkupplung
 l_H = Abstand der gelenkten und der ungelenkten Anhängerachse voneinander
 γ = Winkel zwischen Drehachse der ungelenkten Hinterräder des Zugfahrzeugs und r_{KK}

α, β = Lenkwinkel des Zugfahrzeugs
 ξ = Lenkwinkel des Anhängers

Aus den Beziehungen (4) bis (7) läßt sich der Lenkwinkel ξ des Anhängers 2 für jeden Lenkwinkel α des Zugfahrzeugs 1 errechnen. Es versteht sich, daß entsprechende Beziehungen auch unter Berücksichtigung des zweiten Lenkwinkels β des Zugfahrzeugs 1 aufgestellt werden können und daß anstelle des Lenkwinkels α auch ein anderer diesen Winkel repräsentierender Wert (z. B. elektrisches Meß- bzw. Stellsignal) ermittelt werden kann. Wesentlich für die Erfindung ist es, daß die elektronische Steuerung 11 anhand des im Sinne eines Sollwertes ermittelten Lenkwinkels ξ bzw. eines diesem entsprechenden Wertes die Elektromotoren 9 bzw. 10 der angetriebenen Räder 5 und gegebenenfalls 6 des Anhängers 2 hinsichtlich Drehzahl und Drehmoment so steuert, daß der Anhänger sich möglichst auf dem geometrischen Kurs bewegt, der dem idealen Anhängerbetrieb entspricht.

Da die kurvenäußeren Räder 5, 6 einen längeren Weg als die kurveninneren zurücklegen müssen, ist die Drehzahl der ersteren entsprechend höher einzustellen. Entsprechendes gilt für die angetriebenen Räder 3 und gegebenenfalls 4 des Zugfahrzeugs 1. Von der elektronischen Steuerung 11 muß dabei allerdings berücksichtigt werden, daß der Lenkwinkel ξ des Anhängers 2 erst mit einer von der Fahrzeuggeschwindigkeit v abhängigen Zeitverzögerung t_{ph} dem Lenkwinkel α bzw. β des Zugfahrzeugs 1 folgt, wie dies in Fig. 4 anhand des von der Zeit t abhängigen Verlaufs der Lenkwinkel $\alpha = f(t)$ und $\xi = f(t)$ exemplarisch dargestellt ist.

Diese Zusammenhänge lassen sich am Beispiel einer stationären Kreisfahrt, d. h. am Einlenken des Fahrzeugs in eine Kurve verdeutlichen. Durch die Veränderung des Lenkwinkels im Zugfahrzeug 1 werden die Lenkwinkel α, β auf entsprechende Werte eingestellt, die von der elektronischen Steuerung 11 über Lenkwinkelsensoren erfaßt werden. Aus dem aktuellen Lenkwinkel α oder β wird, wie vorstehend beschrieben, ein Sollwert für den Lenkwinkel ξ des Anhängers 2, d. h. im vorliegenden Fall für den Drehkranzwinkel der gelenkten Anhängerachse mit den Rädern 5 ermittelt. Die Phasenverzögerung t_{ph} , mit der dieser Soll-Lenkwinkel des Anhängers 2 eingestellt wird, wird von der elektronischen Steuerung 11 nach folgender Beziehung ermittelt:

$$t_{ph} = (s/v) \times C \quad (8)$$

Darin bedeuten:

s = Abstand der gelenkten Achsen von Zugfahrzeug und Anhänger
 v = Geschwindigkeit des Fahrzeugzugs
 C = Korrekturfaktor zwischen 0 und 1

Der Korrekturfaktor C macht die Berücksichtigung unterschiedlicher Lenkungsausführungen am Anhänger 2 möglich. Bei einer Zwangslenkung geht der Wert von C gegen 0. Bei einer Schlepplenkung, wie sie in Fig. 2 vorliegt, liegt C dagegen in der Nähe des Wertes 1. In jedem Fall wird C so gewählt, daß das Fahrverhalten eines nicht angetriebenen Anhängers auf trockener Straße (idealer Anhängerbetrieb) nachgebildet wird. Um die zeitverzögerte Einstellung des Anhängerlenkwinkels ξ zu ermöglichen, muß die elektronische Steuerung 11 den zeitlichen Verlauf des Lenkwinkels α bzw. β des Zugfahrzeugs 1 fortlaufend erfassen und ständig

über eine Zeitspanne, die größer ist als t_{ph} , gespeichert halten. Nach Erkennen eines Lenkvorgangs über den Lenkwinkelsensor des Zugfahrzeugs 1 beginnt zeitlich um t_{ph} versetzt ein fortlaufender Vergleich der Funktionswerte $\alpha = f(t)$ und $\xi = f(t)$, wobei letztere durch einen entsprechenden Winkelsensor am Anhänger 2 erfaßt und an die elektronische Steuerung 11 gegeben werden. Wird festgestellt, daß die zeitliche Funktion des Anhängerlenkwinkels ξ nicht mit der Phasenverschiebung t_{ph} der zeitlichen Funktion des Lenkwinkels α folgt, wird von der elektronischen Steuerung 11 korrigierend in den Antrieb eingegriffen. Dies erfolgt vorzugsweise so, daß zum einen die Antriebsleistung an den Rädern 5, 6 des Anhängers 2 verringert wird, und zum anderen mittels Drehzahldifferenzregelung der kurven-
 10 äußeren und kurveninneren Räder der tatsächlichen Lenkwinkel ξ an den Soll-Lenkwinkel angenähert wird. Anstelle des Lenkwinkels α des Zugfahrzeugs 1 könnte selbstverständlich auch der Lenkwinkel β in entsprechender Weise herangezogen werden. Grundsätzlich ist es auch möglich, den Lenkwinkel indirekt als theoretischen Lenkwinkel aus der Querbesehleunigung und der Fahrgeschwindigkeit von Zugfahrzeug 1 und/oder Anhänger 2 zu errechnen. In diesem Fall müßten entsprechende Sensoren zur Erfassung der Querbesehleunigung vorgesehen werden.

Da die Drehzahlen und Drehmomente und somit auch die Antriebsleistung der Elektromotoren 7, 8, 9, 10 von der elektronischen Steuerung 11 überwacht werden, kann in dem erfindungsgemäßen Fahrzeug ohne großen Aufwand eine Antriebsschlupfregelung erfolgen. Unzulässig hoher Schlupf an einzelnen angetriebenen Rädern 3, 4, 5, 6 kann durch entsprechende Vergleiche der Raddrehzahlen untereinander leicht festgestellt werden. Da jeder Elektromotor 7, 8, 9, 10 von der elektronischen Steuerung 11 innerhalb von Sekundenbruchteilen einzeln angesprochen werden kann, ist eine unverzügliche individuelle Reduzierung der Antriebsleistung und damit des Antriebsmoments auf solche Werte möglich, bei denen an dem jeweiligen Rad 3, 4, 5, 6 kein unzulässiger Schlupf mehr auftritt. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit zu einer Verminderung des Reifenverschleißes und zur Einsparung von Energie.

Durch die Verteilung der Antriebskräfte des Fahrzeugzugs auch auf Antriebsräder 5, 6 des Anhängers 2 ergibt sich für das Zugfahrzeug 1 eine entsprechende Entlastung der bisher allein für die Übertragung der Antriebskräfte zuständigen Räder 4 und gegebenenfalls 3 und somit für diese Räder eine Erhöhung der übertragbaren Seitenführungskräfte. Umgekehrt reduzieren sich selbstverständlich am Anhänger 2 bei gleichbleibender Summe der insgesamt von den Rädern 3, 4, 5, 6 auf die Straße zu übertragenden Antriebskräfte die dort übertragbaren Seitenführungskräfte. Wird durch die elektronische Steuerung 11 erkannt (z. B. durch Vergleich der Lenkwinkel des Zugfahrzeugs 1 und des Anhängers 2 und/oder durch die Kräftebilanz an der Anhängerkupplung (13)), daß die Seitenführungskräfte am Anhänger 2 nicht mehr von den Rädern 5, 6 auf die Fahrbahn übertragen werden, erfolgt eine Verringerung der Antriebskräfte an den betroffenen Rädern und gegebenenfalls eine Reduzierung der Geschwindigkeit v des Fahrzeugzugs. Zusätzlich kann der Fahrer durch visuelle und/oder akustische Signale entsprechend gewarnt werden. Somit wird neben einer frühzeitigen Erkennung des sich anbahnenden Verlustes der Seitenführungskräfte an den Rädern auch ein diesbezüglicher korrigierender Eingriff möglich.

Ist beispielsweise die Geschwindigkeit v des Fahrzeugzugs in einer Kurve oder beim Fahren auf einer Fahrbahn mit geringem Reibbeiwert zu groß, werden zunächst die angetriebenen Räder verstärkt schlupfen. Dieser erhöhte Schlupf kann von einer elektronischen Steuerung 11 leicht erkannt werden durch Vergleich von Drehzahl- und/oder Drehmomentwerten der elektronischen Antriebsmotoren und veranlaßt die elektronische Steuerung 11 nicht nur zu der bereits erwähnten Verringerung des entsprechenden Antriebsdrehmoments, sondern gegebenenfalls auch zu einer dosierten Umverteilung der Antriebskräfte auf "unkritische" Antriebsräder. Für den gesamten Fahrzeugzug wird damit ein wirksamer Schleuderschutz erreicht.

Im Hinblick auf den Schleuderschutz von besonderem Vorteil, wenn die elektronische Steuerung eine Auswertung der in ihrem zeitlichen Verlauf erfaßten Werte der tatsächlichen Zugkraft F_z an der Deichsel 14 und/oder des Lenkwinkels ξ des Anhängers 2 auf periodische Schwankungen vornimmt. Hieraus lassen sich Informationen über ein drohendes Schleudern ableiten. Wenn sich eine unzulässige Periodizität mit unzulässiger Amplitude ergibt, dann kann ein entsprechendes Warnsignal an den Fahrer gegeben werden oder aber auch die Geschwindigkeit des Fahrzeugzugs vermindert werden. Außerdem ist es von Vorteil, die Traktion dann möglichst auf alle antreibbaren Räder gleichmäßig zu verteilen.

Der elektrische Strom zur Versorgung der Elektromotoren 7, 8, 9, 10 kann beispielsweise aus einem Akkumulator entnommen werden. Vorzugsweise wird der elektrische Strom jedoch in einer Verbrennungsmotor/Generator-Einheit erzeugt, wobei für den Generator wie auch für die Elektromotoren 7, 8, 9, 10 bevorzugt multiple elektronisch gesteuerte Dauermagnet-Maschinen eingesetzt werden.

Im Hinblick auf das Rückwärtsfahren, das bei Fahrzeugzügen wegen der "Einknickgefahr" besonders problematisch ist, ermöglicht die Erfindung wesentliche Verbesserungen. Hierzu kann die Antriebsenergie zwischen Zugfahrzeug 1 und Anhänger 2 von der elektronischen Steuerung 11 ohne weiteres so verteilt werden, daß das "Zugfahrzeug 1" praktisch vom "Anhänger 2" gezogen wird. Das heißt, auch bei Rückwärtsfahrt wird an der Deichsel 14 ständig eine Mindestzugkraft aufrechterhalten. Dabei empfiehlt es sich darüber hinaus bei mehrachsigen Anhängern 2, die Summe der Antriebskräfte der Räder 5 an der gelenkten Achse des Anhängers 2 kleiner zu halten als die Summe der Antriebskräfte an den nichtgelenkten Rädern 6 des Anhängers 2.

Besonders vorteilhaft ist die erfindungsgemäße Antriebskonzeption auch für Fahrzeugzüge mit einachsigen Anhängern, also beispielsweise für Gelenkbusse. Hierbei ist es aus antriebstechnischer Sicht völlig unerheblich, ob die Verbrennungsmotor/Generator-Einheit im Anhänger 2 oder aber im Vorderwagen untergebracht wird, da die Energieübertragung zu den elektrischen Antriebsmotoren in einem erfindungsgemäßen Fahrzeug durch Elektrokabel und Steckerverbindungen auf einfache und äußerst flexible Art erfolgen kann. Bei Gelenkbussen ist die Deichsel im Sinne der Erfindung unmittelbar körperlich mit dem Boden des an den Vorderwagen angehängten Hinterwagens verschmolzen. Die Erfindung ermöglicht es erstmals, daß Kurven vorwärts und rückwärts in gleicher Weise von einem Gelenkbus durchfahren werden können. Dies hat große Bedeutung für einen Rangierbetrieb beispielsweise bei

Patentansprüche

1. Fahrzeugzug mit einem Zugfahrzeug (1) und einem über eine Deichsel (14) daran angehängten Anhänger (2), wobei das an mindestens einer Achse lenkbare Zugfahrzeug (1) auf der rechten und der linken Fahrzeugseite an mindestens einer Achse Antriebsräder (3, 4) aufweist, die durch separate Elektromotoren (7, 8) angetrieben werden, und über eine elektronische Steuerung (11) zur dosierten Versorgung der Elektromotoren (7, 8) mit elektrischem Strom verfügt, **dadurch gekennzeichnet**,
 - daß der Anhänger (2) mindestens an einer knicksteif mit der Deichsel (14) verbundenen Achse auf der rechten und der linken Anhängerseite Antriebsräder (5) aufweist, die angetrieben werden durch separate Elektromotoren (9), die ebenfalls von der elektronischen Steuerung (11) dosiert mit elektrischem Strom versorgt werden, wobei die Antriebskraft der Elektromotoren (9) von der elektronischen Steuerung (11) so bemessen wird, daß bei Vorwärtsfahrt eine minimale Zugkraft an der Deichsel, die durch einen Sensor ermittelt wird, nicht unterschritten wird,
 - daß Mittel vorgesehen sind zur direkten oder indirekten Erfassung mindestens eines Lenkwinkels (α , β) und der Geschwindigkeit des Zugfahrzeugs (1) zur Weiterbildung an die elektronische Steuerung (11),
 - daß in einem Speicher der elektronischen Steuerung (11) Berechnungsalgorithmen oder Tabellenwerte hinterlegt sind zur eindeutigen Zuordnung des mindestens einen Lenkwinkels (α , β) des Zugfahrzeugs (1) zu einem Soll-Lenkwinkel des Anhängers (2) oder eines diesen Soll-Lenkwinkel repräsentierenden Wertes (idealer Anhängerbetrieb) und
 - daß die elektronische Steuerung (11) mit einer von der Zugfahrzeuggeschwindigkeit (v) abhängigen Zeitverzögerung (t_{ph}) die Drehzahlen der Elektromotoren (9) der Antriebsräder (5) an der mit der Deichsel (14) verbundenen Achse auf der kurvenäußeren Anhängerseite gegenüber der kurveninneren Anhängerseite in Abhängigkeit von dem mindestens einen erfaßten Lenkwinkel (α , β) auf solche Werte erhöht, die dem Soll-Lenkwinkel des Anhängers (2) bei idealem Anhängerbetrieb entsprechen.
2. Fahrzeugzug nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß alle Räder (5, 6) des Anhängers (2) über Elektromotoren (9, 10) angetrieben sind, die von der elektronischen Steuerung (11) dosiert mit elektrischem Strom versorgt werden.
3. Fahrzeugzug nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß alle Räder (3) des Zugfahrzeugs (1) über Elektromotoren (7, 8) angetrieben sind, die von der elektronischen Steuerung (11) dosiert mit elektrischem Strom versorgt werden.
4. Fahrzeugzug nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel vorgesehen sind zur direkten oder indirekten Erfassung des tatsächlichen Lenkwinkels (ξ) des Anhängers (2) durch die elektronische Steuerung (11) und daß die elektronische Steuerung (11) bei einer Abweichung des

- tatsächlichen Lenkwinkels (ξ) des Anhängers (2) von seinem Soll-Lenkwinkel die Drehzahlen der Elektromotoren (9) der Räder (5) der mit der Deichsel (14) verbundenen Achse in der Weise geregelt werden, daß sich die Abweichung verringert.
5. Fahrzeugzug nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die elektronische Steuerung (11) eine Schlupfüberwachung für die angetriebenen Räder (5, 6) des Anhängers (2) durchführt anhand des von den Rädern (5, 6) jeweils tatsächlich übertragenen Antriebsmomentes oder anhand von Drehzahlunterschieden der Räder (5, 6) oder anhand dieser beiden Kriterien und daß die elektronische Steuerung (11) bei Feststellung von unzulässig großem Schlupf das Antriebsmoment an den betroffenen Rädern (5, 6) durch Drosselung der Stromzufuhr vermindert.
 6. Fahrzeugzug nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Zugfahrzeug (1) mit einer von einer Verbrennungsmotoreinheit angetriebenen Generatoreinheit zur Erzeugung des elektrischen Stroms für die Elektromotoren (7, 8, 9, 10) ausgestattet ist.
 7. Fahrzeugzug nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektromotoren (7, 8, 9, 10) und gegebenenfalls auch die Generatoreinheit als multiple elektronisch gesteuerte Dauermagnet-Maschinen ausgebildet sind.
 8. Fahrzeugzug nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß bei Rückwärtsfahrt die Versorgung der Elektromotoren (7, 8, 9, 10) mit elektrischem Strom von der elektronischen Steuerung (11) in der Weise vorgenommen wird, daß der Anhänger (2) über die Deichsel (14) eine Zugkraft auf das Zugfahrzeug (1) ausübt.
 9. Fahrzeugzug nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei Rückwärtsfahrt die Versorgung der Elektromotoren (9, 10) mit elektrischem Strom von der elektronischen Steuerung (11) in der Weise vorgenommen wird, daß bei einem mehrachsigen Anhänger (2) die Summe der Antriebskräfte an den Rädern (5) der mit der Deichsel (14) verbundenen Achse kleiner ist als die Summe der Antriebskräfte der übrigen Achsen des Anhängers (2).
 10. Fahrzeugzug nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die elektronische Steuerung (11) eine Auswertung der Zugkraft an der Deichsel (14) und/oder des Lenkwinkels (ξ) des Anhängers (2) auf periodische Schwankungen vornimmt und bei Feststellung unzulässiger periodischer Schwankungen die Geschwindigkeit (v) des Fahrzeugzugs vermindert und eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Traktion auf alle antriebbaren Räder (3, 4, 5, 6) vornimmt.
 11. Fahrzeugzug nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Anhänger (2) einachsrig ausgebildet ist.
 12. Fahrzeugzug nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Zugfahrzeug (1) und der Anhänger (2) einen Gelenkbus bilden.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

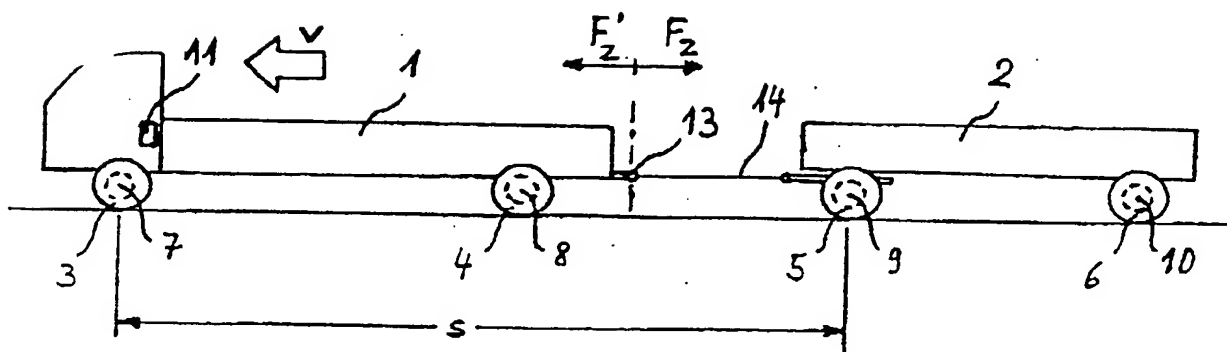


Fig. 1

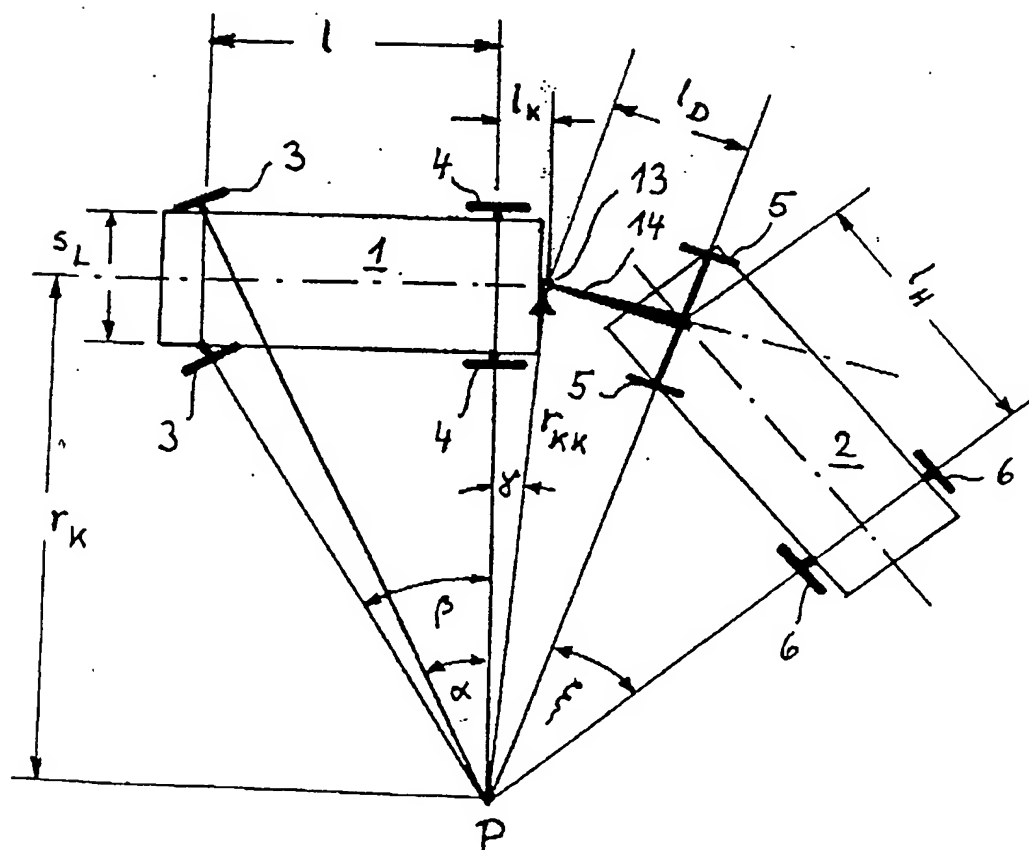


Fig. 2

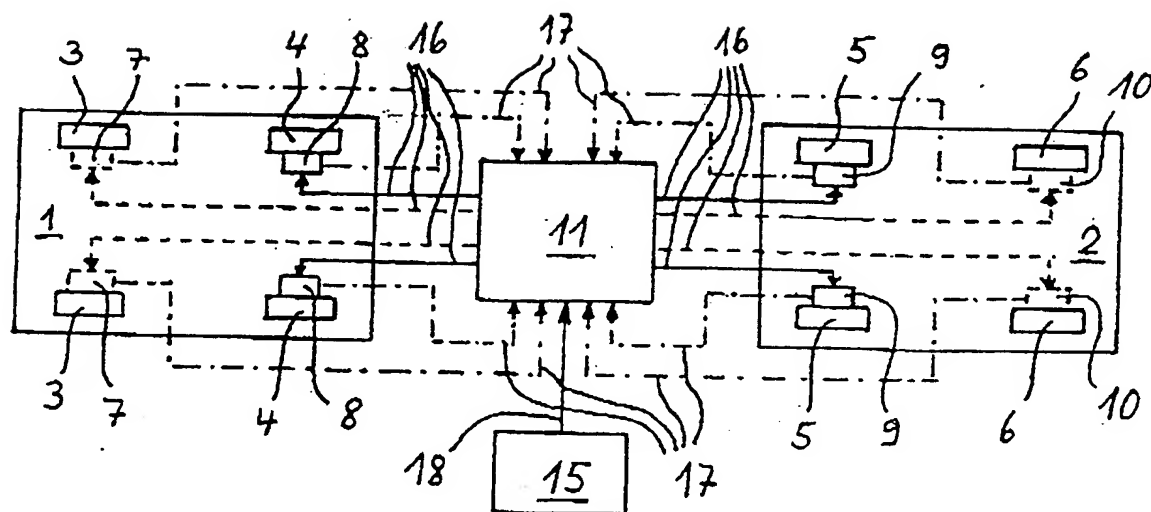


Fig. 3

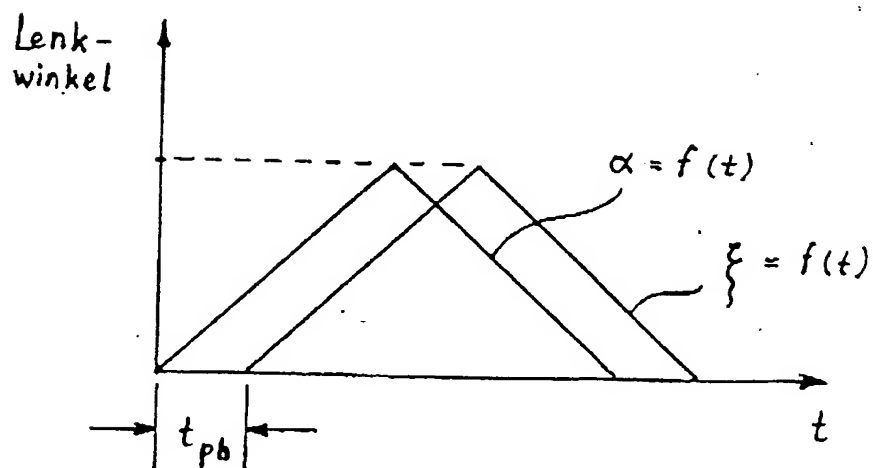


Fig. 4